Zur Dioptrik und Ophthalmoskopie der Fisch- und Amphibienaugen.

Von

J. Hirschberg.

In meiner kurzen Mittheilung zur vergleichenden Ophthalmoskopie[1] musste ich darauf hinweisen, dass noch weitere Untersuchungen nöthig sein werden, um den Gegenstand auch nur zu einem vorläufigen Abschluss zu bringen.

Zunächst wollte ich mir erlauben, einige kurze Bemerkungen über das physikalisch-dioptrische Verhalten der Fisch- und Amphibienaugen, sowie einige Skizzen ihres Augengrundbildes anzuschliessen.

So überwältigend gross und für uns vorwaltend mit der Praxis beschäftigte Aerzte kaum übersehbar auch das vergleichend anatomische Material ist, welches zahlreiche Forscher hinsichtlich der Structur des Auges im Thierreiche angesammelt haben: so spärlich sind die Untersuchungen des physikalischen Verhaltens lebender Fisch- und Amphibienaugen.

Nichtsdestoweniger ist der so naheliegende Unterschied in den dioptrischen Verhältnissen des Wirbelthierauges, je nachdem es sich um Luft- oder um Wasserbewohner handelt, den Physiologen seit langer Zeit geläufig und um so leichter aufgefunden worden, als schon der grobe Vergleich eines Fisch- und eines etwa gleich grossen Landwirbelthierauges ganz bemerkenswerthe Differenzen in der äusseren Gestaltung erkennen lässt. In dem Handbuch der Physiologie von Johannes Müller, das noch heute, nahezu ein halbes Jahrhundert nach seinem Erscheinen, eine so wichtige Fundgrube werthvoller Daten darstellt, heisst es (1837, II, S. 314) folgendermaassen: „Bei den in Wasser lebenden Thieren ist die Linse immer con-

[1] *Dies Archiv.* 1882. S. 82.

vexer, als bei den in Luft lebenden, bei den Fischen ist sie kugelrund, bei den Sepien sogar länglich in der Richtung der Achse. Dagegen ist die Hornhaut der in Wasser lebenden Thiere viel flacher als bei den in Luft lebenden. Diesen Thieren würde eine convexe Hornhaut von keinem Nutzen sein, indem die wässrige Feuchtigkeit durch Brechkraft sich wenig von dem äusseren Wasser, worin die Thiere leben, unterscheidet; während die Brechung durch die Cornea und wässrige Feuchtigkeit bei den in Luft lebenden Thieren sehr gross ist. Dagegen muss die Brechung bei den in Wasser lebenden Thieren durch die stärkere Convexität der Linse ersetzt werden. Die Linse der Fische ragt mit der vorderen Hälfte durch die Pupille in die vordere Augenkammer."

Diese Darstellung ist durchaus einwandsfrei und bedarf auch keiner Erläuterung, während ich bezüglich einer der neueren Arbeiten auf diesem Gebiete mehrere Bemerkungen zu machen genöthigt bin. Ich meine die Monographie des Hrn. Dr. Felix Plateau (d. J.) über das Sehen der Amphibien und Fische, welche am 2. Juli 1866 der königl. Akademie von Belgien vorgelegt und von derselben preisgekrönt worden ist. (Vgl. *Acad. Royale de Belgique*, Extr. du Tome XXIII des Mémoires couronnés.)

Der Hr. Verfasser glaubt durch Beobachtung, Theorie und Experiment die folgenden Sätze begründet zu haben:

1) Chez tous les poissons la portion médiane de la cornée est aplatie, de sorte que le rapport entre le rayon de courbure de cette portion et l'axe de l'œil est beaucoup plus grand que chez les animaux terrestres; cet aplatissement existe même chez ceux des poissons auxquels on a attribué la cornée la plus convexe. — 2) En conséquence de cette conformation et de la sphéricité de leur crystallin, les poissons voient dans l'air aussi bien que dans l'eau; seulement leur distance de vision distincte est un peu plus grande dans ce dernier milieu. — 3) L'oeil des amphibies a une structure identique ou très analogue à celle de l'oeil des poissons, d'où il résulte nécessairement que les amphibies possèdent également la faculté de voir avec netteté dans l'air et dans l'eau, et à peu près à la même distance, sans que, pour passer d'un milieu à l'autre, ils doivent mettre en jeu leur pouvoir d'accommodation.

Hr. Plateau giebt an, dass er zuerst die Frage von dem Sehen der Fische und Amphibien experimentell in Angriff genommen habe.

Unleugbar ist dies sein Verdienst. Ja, seine Arbeit scheint die einzige zu sein, welche dieses Gebiet umfasst, und ist bisher als maassgebend betrachtet worden.

Auch Hr. Prof. Leuckart hat in seiner vortrefflichen Organologie des Auges, die 1876 in dem Graefe-Saemisch'schen *Handbuch der Augenheilkunde* erschienen ist und den heutigen Standpunkt unserer Kenntnisse

ebenso bündig wie erschöpfend zusammenfasst, den Standpunkt von Plateau ohne Vorbehalt angenommen.

Es heisst bei Leuckart Seite 155:

„Dass auch das Brechungsvermögen des umgebenden Mediums auf die Bildung der optischen Apparate influirt, ist bei Erwähnung der Wasserthiere schon angedeutet. Wir werden bei einer späteren Gelegenheit noch weiter darauf zurückkommen und fügen hier nur die Bemerkung bei, dass das Auge der amphibiotischen Thiere, derjenigen also, die so gut im Wasser wie in der Luft leben und sehen, den Bau der Wasserthiere wiederholt (Plateau.) Bei beiden ist es ausschliesslich die Linse, die das Retinalbild erzeugt. Die Cornea, die sonst in der Luft auf den Gang der Lichtstrahlen einen erheblichen Einfluss ausübt, ist durch ihre platte Form aus der Reihe der brechenden Medien ausgeschlossen, sodass die betreffenden Thiere, auch ohne besondere Adaptationsleistungen, in der Luft so gut wie im Wasser zu sehen vermögen. Nur insofern besteht einiger Unterschied, als das deutliche Sehen in der Luft — der in beiden Medien verschiedenen Focalweite entsprechend — erst in etwas grösserer Entfernung von dem Auge anhebt.“

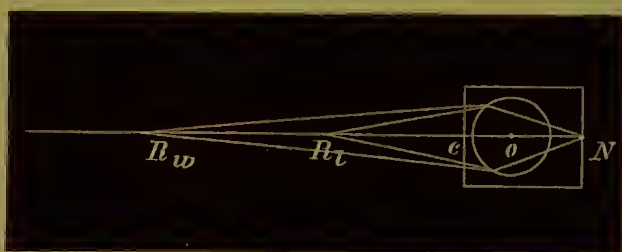


Fig. 1.
Schema des Strahlenganges im Fisch- (und Amphibien-) Auge nach F. Plateau.
Rw Fernpunkt in Wasser.
Rl Fernpunkt in Luft.
Die Strecke *Rw Rl* ist relativ grösser gezeichnet, als die Zahlen Plateau's zulassen. Das von einem Netzhautpunkt ausgehende Strahlenbündel ist im Kammerwasser stark convergent.

Es wäre also nach Plateau und Leuckart, wenn wir von einer accommodativen Veränderung der Krystalllinse absehen, das Schema des Fisch- und Amphibienauges das folgende (vgl. Fig. 1): Ein geschlossener Kasten sei vorn von einer planparallelen Glasplatte (*c*) begrenzt, der Hohlraum sei mit Wasser gefüllt und enthalte die kugelige Krystalllinse von stärkerem Brechungsvermögen, sowie hinten (dicht hinter dem hinteren Linsenpol) einen lichtauffangenden Schirm (*N*): *Rw* sei der Punkt, für den der Apparat eingerichtet ist, wenn er in Wasser; *Rl*, wenn er sich in Luft befindet.

Von der Wirkung, welche eine ebene Trennungsfläche zwischen zwei optisch verschiedenen Medien auf den Gang eines schmalen homocentrischen Lichtstrahlenbündels ausübt, kann man leicht Aufschluss erhalten, wenn

in der für eine kugelige Trennungsfläche einfach abzuleitenden Gleichung [1]

$$(1) \quad \frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2} = \frac{n_2 - n_1}{r}$$

(in der n_1 den Brechungsindex des ersten, n_2 den des zweiten Mediums, f_1 Objectdistanz, f_2 Bilddistanz, r den Krümmungsradius bedeutet) r unendlich gross gesetzt wird, so dass das Glied $\frac{n_2 - n_1}{r}$ verschwindet: es folgt dann

$$(2) \quad f_2 = -\frac{n_2}{n_1} f_1$$

oder für den Uebergang aus Luft in Wasser $f_2 = -\frac{4}{3} \cdot f_1$. Darnach ist $f_2 = \infty$, wenn $f_1 = \infty$.

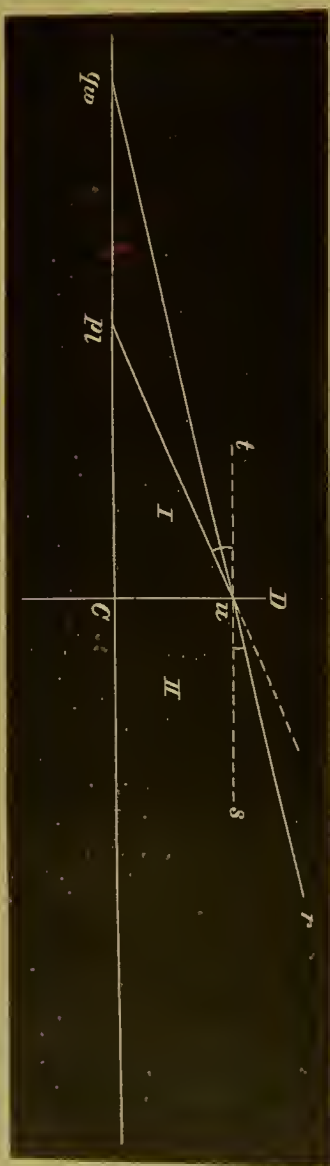


Fig. 2.

Ein paralleles Strahlenbündel wird nicht abgelenkt. Stellt aber *pl* (Fig. 2) einen in Luft (*I*) befindlichen, in endlicher Entfernung von *C* belegenen Objectpunkt dar, so liegt das Bild, das die ebene Trennungsfläche *CD* beim Uebergang in Wasser von *pl* entwirft, weiter ab von *C* als das Object, im Verhältniss von 4:3, und auf der nämlichen Seite der Trennungsfläche, also in *qw*. Convergirt ein aus Wasser (*II*) austretendes Strahlenbündel nach *qw*, so wird beim Uebergang in Luft das Bündel in *pl* vereinigt. Nach dem Brechungsgesetz muss ja der Winkel, welchen ein Lichtstrahl mit dem Einfallsloth bildet, in Luft immer grösser sein, als in Wasser.

($\angle\, tup > \angle\, rus$; $\angle\, rus < \angle\, tup$.)

Wenn wir also das erwähnte Schema annehmen wollten, so hätten wir bei Leuckart einen kleinen Druckfehler zu verbessern und jedenfalls mit Plateau zu setzen: „Das Sehen in Luft hebt in geringerer Entfernung vom Auge an, als im Wasser“. Aber kann denn überhaupt die Vorderfläche der Fischhornhaut in dioptrischem Sinne als eine Ebene betrachtet werden? Stimmt der dioptrische Bau des Amphibienauges mit dem des Fischauges überein? Beide Fragen müssen

[1] Vgl. den Anhang.

verneint werden, und, was das merkwürdigste ist, sogar nach Plateau's und Leuckart's eigenen Zahlen.

Allerdings besteht ja ein auffallender Unterschied zwischen dem Contour des horizontalen Durchnitts beim Menschen- und beim Hechtauge. Der menschliche Augapfel zeigt eine regelmässige Rundung, der im vordersten Theil die zart uhrglasförmige Wölbung der Hornhaut aufgesetzt ist. Der Krümmungsradius der Hornhaut misst etwa 8, der der Sklera etwa 12, die Länge der Sehaxe etwa 24 mm. Das Verhältniss ist wie $1:1^1/_2:3$.

Das Hechtauge hingegen stellt ein querstehendes Ellipsoïd dar mit stark abgeplatteter Vorderfläche.

Leuckart selbst giebt beim Hechtauge den Krümmungsradius der Hornhaut zu 14, den der Sklera zu 9, die Augenaxe[1] zu 10 mm an (Verhältniss wie 1:0·64:0·7), und betont, dass bei Wasserthieren der Krümmungsradius der Hornhaut immer länger sei, als der der Sklera, bei Landthieren das umgekehrte Verhältniss stattfinde.

Die Radien sind nicht direct gemessen,[2] sie werden aus den Abbildungen von Dr. W. Sömmering (*De oculor. hominis animaliumque sect. horiz. comm.* Gotting. 1818) abgeleitet. Lassen wir vorläufig den Werth von 14 mm gelten, so würde, wenn das Hechtauge in Luft emportauchte, eine vordere Brennweite[3] von 42 mm des brechenden Hornhautsystems vorhanden sein, d. h. etwa die Hälfte der brechenden Wirkung der menschlichen Cornea oder $\frac{2}{3}$ der brechenden Wirkung der menschlichen Krystalllinse, wenn sie ihre flachste Form angenommen. Diese Brechkraft von $\frac{1}{42}$ in Millimetermaass ist für ein Hechtauge, dessen hauptsächlicher dioptrischer Apparat, die Krystalllinse, eine Brennweite von etwa 8 mm, also eine Brechkraft von $\frac{1}{8}$ besitzt, während die Sehaxenlänge 10 mm beträgt, unmöglich gleich Null zu setzen: $\frac{1}{8}+\frac{1}{40}=\frac{6}{40}=\frac{1}{6.6}$.

Wesentlich länger ist allerdings nach Plateau, der das herausgenommene Auge eingypste und die gewonnene Gypsschale maass, der Krümmungsradius in der Hornhautmitte des Hechtes, nämlich 17·5 bis 20 mm: hieraus berechnet sich eine vordere Hauptbrennweite des Hornhautsystems von 60 mm; also eine Brechkraft, die etwa $\frac{1}{3}$ von der der menschlichen Hornhaut und

[1] Bei den Fischen besteht, wie wir gleich sehen werden, noch ein beträchtlicher Unterschied zwischen Augenaxe und Sehaxe, da die Netzhaut erheblich vor der Sklera liegt.

[2] Sömmering selber giebt in seiner Messungstabelle $r = 6'''$ an.

[3] $F_1 = \frac{n_1 r}{n_2 - n_1} = \frac{r}{\frac{4}{3} - 1} = 3 . r.$

ebensoviel wie die der menschlichen Krystalllinse beträgt: es wäre dies weniger als nach Leuckart, aber doch nicht Null. $\left(\frac{1}{8}+\frac{1}{60}=\frac{1}{7}\right)$. Sähe das Hechtauge in Wasser auf grössere Distanzen, so hätte es doch noch in Luft eine starke Kurzsichtigkeit, nämlich einen Fernpunktsabstand von 60 mm oder nahezu $2^{1}/_{4}$″. Somit widersprechen Plateau's eigene Zahlen auf das bestimmteste seinen Annahmen über das Sehen der Fische.

Aber vor Allem ist es geboten, diese Zahlen einer experimentellen Nachprüfung am lebenden Thiere zu unterziehen. Man prüft, wenn man richtige Resultate erlangen will, die Grösse des Reflexbildes, welches die Mitte der Hornhaut des lebenden Thieres von einem gegebenen Gegenstande entwirft.

Es ist dies das feinste Tasten, mit dem Lichtstrahl. Helmholtz's Ophthalmometer braucht man natürlich für solche approximative Bestimmungen nicht. Man misst die Breite des Reflexbildes, welches die Hornhaut von einer Fensteröffnung entwirft. (Ich wählte eine Objectbreite von 1000, eine Objectferne von 3500 mm.) Wird grössere Genauigkeit gewünscht, so kann das von mir am 14. Juli 1876 der Berliner physiologischen Gesellschaft mitgetheilte Verfahren in Anwendung gezogen werden: „Um die Messung des Hornhautkrümmungsradius zu einer bequemen und schnell ausführbaren Methode der Praxis zu machen, werden in der Höhe des zu untersuchenden Auges zwei Lichtflammen aufgestellt, so dass ihre gegenseitige Entfernung 1 Meter beträgt und das zu untersuchende Auge vom Mittelpunkt ihrer Halbirungslinie 1 Meter entfernt ist. Mit dem Pupillometer misst man β, die Distanz der beiden Lichtflammen im Spiegelbildchen der Hornhaut, dann ist direct β die Brennweite oder der halbe Krümmungsradius des Hornhautsspiegels. Denn, ist b ein Object, β sein Bild, a der Abstand des relativ fernen Objects vom Krümmungsmittelpunkt des Convexspiegels, so ist $\frac{\beta}{b}=\frac{\frac{1}{2}r}{a}$, folglich, da wir $a=b$ gemacht haben, $\frac{1}{2}r=\beta$.“[1]

Sehr bequem ist auch zur Hornhautmessung das Keratoskop von Placido,[2] eine schiessscheibenähnliche Figur mit centraler Durchbohrung. Ich habe das Instrument stabil gemacht und mit einer Millimeterscala versehen, die durch ein kleines Planspiegelchen nach dem scheinbaren Ort des Hornhautspiegelbildes hin reflectirt wird. Ist die Scheibe 8 Zoll breit und 8 Zoll entfernt von der Hornhaut, so hat man nur die Zahl der

---

[1] Vergl. in *diesem Archiv*, 1878. S. 581. 582.

[2] Vgl. *Centralblatt für Augenheilkunde.* 1882. S. 30 u. ff.

Theilstriche, welche der Breite des Hornhautreflexbildes entspricht, mit 2 zu multipliciren, um r zu finden. Gleichzeitig gewinnen wir mit einem Blick eine unmittelbare Anschauung von der Wölbung des Hornhautspiegels und der etwaigen Unregelmässigkeiten desselben, sowohl bei Thieren als auch bei Menschen.

Ich habe auf solche Weise verschiedene Fische und Frösche untersucht und will mich begnügen, einige Resultate der Beobachtungen mitzutheilen.

Ein grosser Hecht von 60 cm Länge und 1 Kilo Gewicht zeigte folgende Maasse:

	Rechtes Auge.	Linkes Auge.
Hornhautbreite	15 mm	$14\frac{1}{2}$ mm
Hornhauthöhe	13 „	13 „
Pupillenbreite	7 „	7 „
Pupillenhöhe	5 „	$5\frac{1}{2}$ „
Fensterreflexbild inmitten der Pupille	1·75 mm breit	1·75 mm breit
„ näher dem nasalen Rande der Pupille		2 „ „
„ am nasalen Rande der Pupille	2 „ „	2·5 „ „
„ jenseits des nasalen Pupillenrandes, nasenwärts	2·5 „ „	2·5 „ „
„ dicht am nasalen Rande der Hornhaut	2 „ „	2 „ „
„ nahe dem temporalen Rande der Pupille im Pupillargebiet		5 „ „
„ am temporalen Rande der Pupille	4—5 „ „ (und darüber)	4 „ „
„ jenseits desselben, schläfenwärts	4 mm breit	3·5 „ „
„ am Schläfenrande der Cornea	2·5 „ „	2·5 „ „
„ vor der Mitte des oberen Pupillarrandes	2·5 „ „	2·5 „ „
„ weiter oberhalb des ob. Pupillarrandes		3·5 „ „
„ vor der Mitte des unteren Pupillarrandes	2·5 „ „	2·5 „ „
„ weiter unterhalb des ob. Pupillarrandes		3·5 „ „

Am kleinsten und regelmässigsten war das Bild im nasalen Drittel des Pupillarbereiches.

Mehr als die laterale Hälfte des Pupillarbereiches der Hornhaut ist stark abgeflacht, ebenso eine schmale extrapupillare Zone der umgebenden Hornhaut.

Es ist nämlich $\frac{1000}{3500} = \frac{b}{\frac{r}{2}}$, wo b die Breite des Reflexbildes.

Hieraus folgt:

$$\frac{r}{2} = 3 \cdot 5 \text{ mm}, \quad r = 7 \text{ mm für } b = 1 \text{ mm}$$

$$\frac{r}{2} = 6 \cdot 2 \text{ „}, \quad \underline{r = 12 \cdot 4} \text{ „ „ } b = 1 \cdot 75 \text{ mm}$$

$$\frac{r}{2} = 7 \text{ „}, \quad \underline{r = 14} \text{ „ „ } b = 2 \text{ mm}$$

$$\frac{r}{2} = 8 \cdot 75^{\text{mm}},\ r = 17 \cdot 5^{\text{mm}} \text{ für } b = 2 \cdot 5^{\text{mm}}$$

$$\frac{r}{2} = 10 \cdot 5\ ,,\ r = 21\ ,,\ ,,\ b = 3\ ,,$$

$$\frac{r}{2} = 12 \cdot 25\ ,,\ r = \underline{25}\ ,,\ ,,\ b = 3 \cdot 5\ ,,$$

$$\frac{r}{2} = 14\ ,,\ \underline{r = 28}\ ,,\ ,,\ b = 4\ ,,$$

$$\frac{r}{2} = 17 \cdot 5\ ,,\ \underline{r = 35}\ ,,\ ,,\ b = 5\ ,,$$

Nicht bloss 20 mm, wie Plateau annimmt, sondern sogar 28 mm lang wird der Hornhaut-Krümmungsradius r innerhalb des Pupillargebietes grosser Hechtaugen, und zwar mehr schläfenwärts; aber inmitten des Pupillargebietes und nasenwärts ist r nur 12 bis 14 mm, d. h. 1·5 bis 2 mal so gross, als der Krümmungsradius der menschlichen Hornhaut. Von einem einzelnen Krümmungsradius der Hechtcornea, soweit sie optisch in Betracht kommt, kann man gar nicht reden: das lehrt ein Blick auf die schematische Fig. 3, welche die Hechtcornea (in doppelter Vergrösserung) mit den eingezeichneten wirklichen (horiz.) Krümmungsradien der einzelnen Stellen enthält.

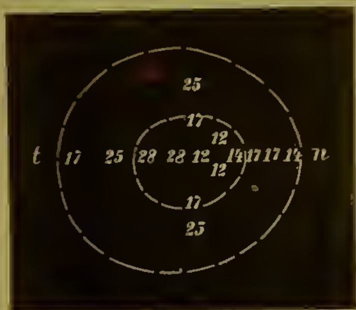


Fig. 3.
Hechtcornea in doppelter Grösse; die Zahlen bedeuten die Krümmungsradien der einzelnen Stellen, n nasaler Rand der Cornea, t temporaler.

Theoretisch wird schwer zu entscheiden sein, welcher Krümmungsradius bei der Lichtbrechung aus Luft in das Fischauge hauptsächlich in Betracht kommt. Entscheidend ist der Versuch. Der lebende Hecht wird in Luft gehalten, man beleuchtet mit dem Augenspiegel die Pupille. Die brechenden Medien des Fischauges selbst entwerfen ein umgekehrtes[1] Bild der Netzhaut und zwar des Sehnerveneintritts. Ich messe die maximale Entfernung D zwischen meinem und dem Fischauge, bei der ich jenes Bild noch am schärfsten sehe und finde sie gleich $12^1/_2$ bis 13 Zoll; meine Fernpunktsdistanz d beträgt 10″; folglich hat das Hechtauge in Luft eine excessive Kurzsichtigkeit mit einem Fernpunktsabstand $R = D - d = 2^1/_2$ bis 3″. Das umgekehrte Netzhautbild ist allerdings stark astigmatisch. Ein möglicher Fehler von etwa $^1/_2$″ ist gern zugegeben.

[1] Dass das Netzhautbild ein umgekehrtes reelles Luftbild ist, kann man an seinen optischen Eigenschaften leicht erkennen; es verschiebt sich nach rechts, wenn der Kopf des Beobachters nach links geht; es verschwindet, wenn der Beobachter sein Auge an das fremde unmittelbar heranbringt.

Jetzt gilt es, die Refraction desselben lebenden Hechtauges unter Wasser zu bestimmen. Dies ist schwierig, aber doch mit Sicherheit ausführbar. Ich bedecke den pupillaren Hornhautbereich mit Wasser und lege darauf ein Stückchen von einem Deckgläschen für mikroskopische Präparate. Die Hornhaut ist jetzt in Wasser getaucht, ihre Wirkung null; die brechende Wirkung des planparallelen Deckgläschens ist gleichfalls null. Ich finde nunmehr mit Hilfe des aufrechten Netzhautbildes objectiv eine Myopie des in Wasser getauchten Fischauges von etwa 24 Zoll[1] Fernpunktsabstand (= 1·5 D), also einen ganz schwachen Grad. Mit Ueberraschung sehe ich, wie ausserordentlich viel besser der optische Apparat dieses Fischauges in Wasser als in Luft arbeitet. Ich erhalte ein regelmässiges, natürlich stark vergrössertes Bild der Netzhautmitte: feinste Sehnervenfasern ziehen radiär in mehr horizontalen Richtungen über den röthlichen Augengrund; dahinter liegt ein System von feinen senkrechten Linien, das ganze ist wie chagrinirt durch glitzernde Punkte.

Das umgekehrte Bild des Sehnerveneintritts, mit der Linse + 2″ entworfen, ist jetzt (bei aufgelegtem Deckglas) etwa dreimal breiter als vorher, wenn das Auge in Luft sich befand: natürlich, je schwächer die Myopie, desto stärker die Vergrösserung des umgekehrten Bildes. Taucht das Hechtauge aus Wasser empor in Luft, so fügt es sich durch Inkrafttreten der Hornhautbrechung eine Linse zu, deren Brechkraft also in Zollmaass gleich

$$\frac{1}{2\frac{1}{2}} - \frac{1}{24} = \frac{1}{2 \cdot 8}''.$$

2·8 Zoll sind etwa 72 mm.

Dem kleineren Krümmungsradius von 12·5 bis 14 mm Länge entspricht eine vordere Hauptbrennweite der Hornhaut von 3 × 12·5 bez. 3 × 14 = 42 mm.

Dem grösseren Krümmungsradius von 28 mm Länge entspricht eine vordere Hauptbrennweite von 3 × 28 = 84 mm.

Somit scheint die factische Wirkung der Hechthornhaut in Luft eher einem mittleren Krümmungsradius zu entsprechen, als den beiden Extremen, obschon dieselbe allerdings dem längeren näher steht, als dem kürzeren.

Die ermittelte Kurzsichtigkeit des in Wasser getauchten Hechtauges bezieht sich aber auf die vordere Netzhautebene, die Nervenfaserschicht. Diese ist nicht die lichtpercipirende, musivische. Nehmen wir einen Tiefen-

[1] Ich brauche bei Emmetropie des Untersuchten stets $-4 \cdot 5\, D = -\frac{1}{9}''$. Ich brauchte für den Hecht -6 bis $7\, D = -\frac{1}{5\frac{1}{2}}$ bis $-\frac{1}{6\frac{1}{2}}''$. Das schwächere Concavglas ist für den Grad der Myopie entscheidend, sowohl bei der subjectiven, wie bei der objectiven Refractionsmessung.

abstand δ von $0 \cdot 10^{\text{mm}}$[1] zwischen beiden und eine Brennweite der kugeligen Krystalllinse von etwa 8^{mm} an, so wäre in der That eine etwas stärkere Myopie vorhanden

$$\varphi_2 = \frac{F_1 F_1}{\varphi_1} = \frac{8 \times 8}{0 \cdot 10} = 640^{\text{mm}}.$$

Es könnte die Myopie noch um etwa 1 bis 1.5 Dioptrien stärker sein, der Fernpunkt statt in 24″ vielleicht in 16 Zoll liegen. Die Differenz zwischen scheinbarer und wirklicher Myopie des in Wasser getauchten Fischauges ist nicht bedeutend. Dem entsprechend sieht der Beobachter ohne Aenderung seiner Accommodation gleichzeitig die Sehnervenfaserschicht ganz scharf im aufrechten Bilde, und auch die Andeutung der Aderhautstructur in genügender Schärfe. Die Constante $F_1 \times F_2$ ist für das Hechtauge (64) zwar kleiner als beim Menschen (300), aber doch erheblich grösser als beim Froschauge (12).

Bei einem Hecht von 0·5 Kgrm. Gewicht, 30 cm Körperlänge, war die Hornhautbreite . . . . 13 mm
die Pupillenbreite . . . . 6 „
r { a) am nasalen Rande des Pupillarbereiches . . . . 7 „
r { b) am temporalen Rande des Pupillarbereiches . . . . 14 „
r { c) inmitten des Pupillarbereiches . . . . 12 „

Das Reflexbild der Scheibe bei *a* regelmässig aus concentrischen Kreisen bestehend, bei *b* und *c* querelliptisch.

Myopie in Luft excessiv, Fernpunktsabstand . 2 Zoll
„ unter Wasser minimal „ . . 24 Zoll

Bei einem grossen Hecht zeigt das rechte Auge eine Breite der Hornhaut von etwa 12^{mm}, eine Höhe von mehr als 10^{mm}, eine Breite der Pupille von 7^{mm}, eine Höhe von 6^{mm}. In Luft besteht excessive Myopie von etwa 2 Zoll Fernpunktsdistanz. Das mit dem Keratoskop gewonnene Hornhautreflexbild war inmitten des Pupillarbereiches 6^{mm} breit und 4^{mm} hoch und von unregelmässiger Gestaltung (Fig. 3 *a*); am nasalen Rande des Pupillarbereiches 6^{mm} hoch

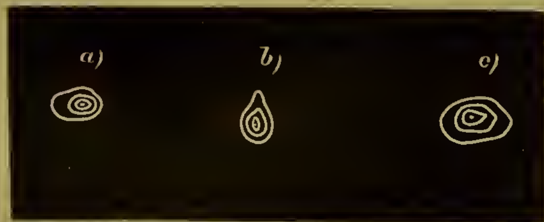


Fig. 3 a.
Hornhautreflexbilder des Keratoskops beim Hecht.
a) von der Mitte des Pupillarbereiches.
b) vom nasalen Rande desselben.
c) vom temporalen Rande desselben.

[1] Directe Messung von Dickendurchschnitten der Hechtretina ergab mir $\delta = 0 \cdot 2^{\text{mm}}$. Da ich aber auch hinter der Sehnervenfaserschicht gleichzeitig ein anderes Liniensystem mit genügender Schärfe wahrnahm, so war der Apparat meines corrigirten Auges doch nicht mathematisch scharf auf die Sehnervenfaserschicht eingestellt und die Annahme $\delta = 0 \cdot 1^{\text{mm}}$ wohl zulässig.

und 4 mm breit (Fig. 3 *b*); am temporalen Rande des letzteren 8 mm breit und 5 mm hoch (Fig. 3 *c*); oberhalb des Pupillarbereiches 10 mm breit, 5 mm hoch und sehr unregelmässig. Der Krümmungsradius der Hornhaut ist etwa das Doppelte der Reflexbildlänge bez. Breite. Wir haben also die Wahl zwischen verschiedenen Hornhautradien und können auch vom blossen Auge leicht erkennen, dass der im ganzen flachen Hornhaut des Hechtes ein sanft ansteigender Epicyclus von stärkerer Krümmung im nasalen Theil des Pupillargebietes aufgesetzt erscheint.

Jedenfalls ist für ein Fischauge, das dem menschlichen an Grösse nahekommt, der physiologisch wichtigste centrale Theil der Hornhaut mit einem horizontalen Krümmungsradius von 12 mm bez. 16 mm, also mit einer Brechkraft von $^1/_{36}$ bez. $^1/_{48}$ in Millimeterwerth ausgestattet.

Bei dieser Gelegenheit sei noch einer optischen Eigenthümlichkeit des Hechtauges gedacht, welche von der Form und Lage der Krystalllinse abhängt. Schon Sömmering d. J. und J. Müller haben darauf hingewiesen, dass bei Fischen die Convexität der Linse über das Pupillargebiet in die Vorderkammer hineinrage. Es schien dies derzeit gewiss um so auffälliger, als man damals noch geneigt war, die menschliche Krystalllinse hinter die Iris nach hinten zurücktreten zu lassen; erst die Anatomie am Lebenden, die wir den neueren von Helmholtz eingeführten Untersuchungsmethoden verdanken, hat uns belehrt, dass der vordere Linsenpol in der Pupillarebene des menschlichen Auges belegen ist.

Wer mit Hilfe des Augenspiegels das Hechtauge durchleuchtet, sieht den grossen mittleren Bereich der querovalen Pupille hell röthlich leuchten; dann folgt eine zartgrauliche Randzone der Krystalllinse und nasenwie schläfenwärts der eigentliche Rand der Krystalllinse, welcher eine metallisch schimmernde Linie darstellt; der Zonularraum, der nasenwärts im Pupillarbereich frei liegt, erscheint ganz dunkel. Die Erklärung dieses Phänomens ist einfach. Oben und unten ist der Linsenrand wegen der im verticalen Durchmesser geringeren Oeffnung der Pupille durch die undurchsichtige Iris verdeckt. Rechts und links bleibt er frei. Aber wegen der vorgerückten Lage und Convexität der Krystalllinse erscheint ihr lateraler Rand bei der Durchleuchtung wie der Rand der menschlichen Linse bei auffallendem Licht, d. h. bei der seitlichen oder focalen Beleuchtung. In die aphakische Zone des Pupillargebietes kann aber, wenn wir den Netzhautmittelpunkt als erleuchtet ansehen, überhaupt kein Theil des zurückkehrenden Lichtes hineingelangen, da die Tangente zur Linsenkugel nach der Hinterfläche der Iris zielt. Blickt und leuchtet man schräg (nasenwärts) in die Pupille hinein, so erscheint der linsenhaltige Theil der letzteren hellröthlich, der Zonularraum bleibt dunkel; nur zeitweise gewinnt man einen schwachen Lichtschimmer aus demselben bei Drehung des Spiegels

Bei einer grossen Plötze war (am rechten Auge) die Hornhautbreite = 12 mm, die Breite der rundlichen Pupille = 6 mm. Wurde der lebende Fisch in Luft gehalten, so entsprach die Myopie des Auges nach der Augenspiegeluntersuchung einer Fernpunktsdistanz von etwa 2 Zoll. Das Reflexbild, welches der mittlere Theil der Hornhaut von unserer Scheibe lieferte, war etwa 4 mm breit, 3 mm hoch; im Ganzen etwas regelmässiger, als beim Hecht und nach dem Gesagten von dem Reflexbild einer normalen menschlichen Hornhaut nicht so erheblich an Grösse abweichend. Der mittlere Theil der Hornhaut dieses Fisches hatte also Krümmungsradien, welche zwischen 6 und 8 mm schwanken.

Der obere Theil der Hornhaut entwarf von der Kreisscheibe ein Spiegelbild in Form einer verticalen, der temporale Theil in Form einer horizontalen Ellipse, deren Längsaxe etwa 8 mm lang war. Somit kommen in den mehr excentrischen Partien dieser Hornhaut Krümmungsradien von 16 mm vor.

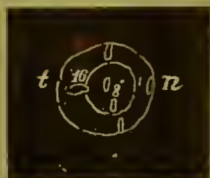


Fig. 4.
Reflexbilder der Hornhaut einer Plötze von derselben Lichtflamme.
Zahlen = Krümmungsradien.
n nasale Seite.
t temporale Seite.

Eine klare Anschauung von den Krümmungsverhältnissen dieser Hornhaut giebt die schematische Fig. 4, welche die Reflexbilder einer Gasflamme an den verschiedenen Stellen der Hornhaut ihrer Grösse nach darstellt. Man erkennt, dass die im Ganzen flache Hornhaut im inneren oberen Theil des präpupillaren Bereiches einen stärker gekrümmten Epicyclus mit einem stark gekrümmten Nabelpunkt enthält.

Aehnliche Bilder erhält man am Menschen nur unter pathologischen Verhältnissen, im Fall des Keratoconus.

Bei einer kleinen Plötze war die Breite der Hornhaut 10, der Pupille 5 mm, des vom präpupillaren Theil der Hornhaut gespiegelten und ziemlich stark verzerrten Keratoskop-Reflexbildes auch 5 mm, die Höhe derselben geringer ($r = 10$ mm). Der Linsenrand nicht sichtbar, wohl aber umschriebene trübe Punkte in der Linse, was recht häufig, ja meistens bei Fischen beobachtet wird. Die objectiv gemessene Myopie des lebenden Auges in Luft entspricht einer Fernpunktsdistanz von $1^1/_2$ Zoll.

Bei einer kleinsten Plötze war die Breite der Hornhaut 7, der Pupille 4 mm, die Breite des in der Mitte der Hornhaut gespiegelten Keratoskop-Reflexbildes 3 mm; die Höhe desselben 2 ($r = 6$ mm). Der Fernpunktsabstand des lebenden Auges in Luft etwa 1″. Gerade hier war die Einstellung auf das directe umgekehrte Augengrundbild eine genügend scharfe, da jedes Blutgefäss eine feine rothe Linie darstellte.

Bei einem Aal von 60^{cm} Länge war links die Hornhautbreite 5^{mm}, Pupillarbreite $2^1/_2{}^{mm}$, Krümmungsradius der Hornhaut $5^1/_2$ bis 7^{mm} inmitten des Pupillargebiets. Das Reflexbild war stark verzerrt, — natürlich auch das Augengrundbild in Luft; starke Myopie dabei zu constatiren. Atropin und Eserin wirken nicht merkbar auf die Pupille.

Ziehen wir das Facit aus diesen Beobachtungen am lebenden Fischauge. Die Fischcornea, die im Wasser nicht gebraucht wird, ist ebensowenig ausgearbeitet, wie die dem Beschauer abgewendete Seite der Giebelstatuen altgriechischer Künstler. Im Ganzen ist die Hornhaut flach im Verhältniss zur Sehaxenlänge. Bei einem Hechtauge, dessen Hornhautbreite gleich der des Menschen, dessen Sehaxenlänge halb so gross wie die des Menschen, kommen im Pupillargebiet Krümmungsradien vor, die über doppelt so gross sind wie die des Menschen; jedoch ist der nasale Theil des präpupillaren Gebietes merklich stärker gekrümmt als der temporale.

Nichtsdestoweniger wäre es ungereimt, die optische Wirkung der Hornhaut, wenn das Fischauge in Luft taucht, gleich Null zu setzen. Sie ist bei derartigen Hechtaugen immer noch fast so gross wie die der Krystalllinse des menschlichen für seinen Fernpunkt accommodirten Auges. Ebenso wie der Verlust der Krystalllinse ein normales Menschenauge stark übersichtig macht (H $^1/_3{}''$), wird das Fischauge, sowie es in Luft emportaucht, durch Inkrafttreten der Hornhautbrechung stark kurzsichtig. Der Fernpunkt liegt 1—3″ vor dem Fischauge, je nach der Grösse des letzteren. Dies lehrt die objective Refractionsmessung mit Hilfe des Augenspiegels.

Der Betrag dieser Kurzsichtigkeit wird nahezu gedeckt durch die Brechkraft der Hornhaut, wie sie sich aus dem Krümmungsradius der Hornhaut annähernd berechnen lässt. Hiernach ist zu vermuthen, dass die Refraction des in Wasser getauchten Fischauges nur wenig von dem normalsichtigen, emmetropischen Zustand abweichen werde.

Die directe Beobachtung mit dem Augenspiegel bestätigt die Vermuthung in unwiderleglicher Weise. Das in Wasser getauchte Fischauge ist aber nicht vollkommen normalsichtig, sondern leicht kurzsichtig. Der Fernpunkt des Hechtauges liegt etwa in 24 Zoll, vielleicht etwas näher, vielleicht auch nicht. Die optischen Bilder des in Wasser getauchten Auges vom Hecht sind recht gute. Wir verstehen in optischer Hinsicht die kraftvolle Action dieses kühnen Räubers; auch ein Mensch mit einem ähnlich geringen Grade von Myopie sieht recht gut für alle gewöhnlichen Verrichtungen, selbst ohne Concavglas.

Hr. Plateau schenkt dem Hecht in Wasser eine Fernpunktsdistanz von 50^{mm} oder $1^1/_2{}''$, ohne zu bedenken, dass mit so engem Sehbereich die Hechte wohl lange im Kampf um's Dasein zu Grunde gegangen wären.

Ich bemerke übrigens noch, dass vom teleologischen Standpunkte aus eine mässige Kurzsichtigkeit der Fische nicht unzweckmässig scheint. Auch das klarste Wasser ist auf grössere Strecken undurchsichtig.



Fig. 4a.

Schema des Strahlenganges im Hechtauge (nach dem Verfasser).

Rl Fernpunkt in Luft.
Rw Fernpunkt in Wasser.
$\overline{CRl}$ und $\overline{CRn}$ sind auf $^1/_6$ reducirt; das Auge hat seine richtigen Dimensionen.
N ist die Netzhaut, *S* Sclera, *C* Cornea.

Das von einem Netzhautpunkt ausgehende Strahlenbündel ist im Kammerwasser nahezu parallel.

Matthiessen's Fischaugen in Wasser sind emmetropisch; doch ist eine Constante, der totale Brechungsindex der Linse berechnet und nicht beobachtet; jedenfalls mögen seine Zahlen hier eine Stelle finden, um Plateau's Anschauungen zu entkräften. Matthiessen (*Dioptrik.* 1877. S. 217) fand beim Seebarsch

r der Hornhaut	6·6	mm
r der beiden Linsenflächen	2·5	„
Axe und Durchmesser der Linse	5·0	„
Ort der vorderen Linsenfläche	0·5	„
„ des Linsencentrums	3·0	„
„ der hinteren Linsenfläche	5·5	„
„ der Retina	8.5	„
Brechungsindex der Hornhaut	1·38	„
„ des Glaskörpers	1·335	„
„ der äusseren Corticalschicht der Linse	1·38	„
„ „ „ „ bis 1 mm tief	1·43	„
„ „ mittleren Linsenschicht	1·49	„
„ des festen Kerns	1·5	„
Er berechnet den totalen Brechungsindex der Linse $n =$	1·7	„
und die Brennweite F_1 der Linse im Glaskörper	5·5	„

Es ist nicht wahrscheinlich, dass den Fischen eine accommodative Linsenverdickung gegeben ist, wie dem Menschen, der übrigens im ganzen

Thierreich relativ die flachste Linsenform besitzt. Die Fischlinse ist kugelig, d. h. ungünstig für eine Verlängerung in Richtung der Sehaxe; auch zu fest, um rasch ihre Form zu ändern.[1]

Was die anatomischen Verhältnisse der Fischaugen anbetrifft, so lehrt schon die makroskopische Präparation des Hechtauges Folgendes: 1) Beim Aequatorialschnitt sieht man, dass die kugelige Krystalllinse einen verhältnissmässig kleinen Umfang besitzt, dessen Kreis die Ellipse der Pupille am oberen und am unteren Rande von innen her berührt, während zwischen dem nasalen und temporalen Pupillarrande einerseits und dem entsprechenden Linsenrande andererseits ein freier Raum (Zonularraum) übrig bleibt, der übrigens vollkommen durchsichtig ist. Der Glaskörper ist nur eine dünne fast membranöse Schicht. 2) Auf dem Horizontalschnitt stellt die Hornhaut gewissermaassen einen Concavmeniscus dar, indem ein solides Ligamentum pectinatum iridis sich ihrer Hinterfläche anschmiegt. Dies ist schon im Anfange unseres Jahrhunderts von Rosenthal (*Archiv f. Physiol.* von Reil und Autenrieth. Bd. X, S. 398) angemerkt und von Dr. W. Sömmering (*De ocul. hom. animaliumque.* Gott. 1818) sorgfältig abgebildet worden. Im Ganzen wird der Meniscus wenig ausmachen, doch kann dadurch die Myopie ein wenig geringer sein, als sie bei parallelen Hornhautflächen betragen würde.[2]

---

[1] Aber unmöglich ist es nicht, dass Fische doch eine Art von Accommodation besitzen, nämlich durch Lageveränderung der Krystalllinse.

Dicke der Linse zur Breite derselben

beim Menschen (puella XX annor.)	= 1·6‴	: 3·6‴	= 1 : 2·5
bei Simia Inuus	= 2·0	: 3·4	= 1 : 1·7
„ Canis Lupus	= 3·9	: 5·4	= 1 : 1·4
„ Phoka groenl.	= 4·6	: 5·0	= 1 : 1·1
„ Falco chrysaetos	= 3·8	: 5·7	= 1 : 1·5
„ Anas cygnus	= 3·0	: 3·8	= 1 : 1·26
„ Rana temporia	= 1·6	: 2·0	= 1 : 1·25
„ Lacerta monitor	= 1·7	: 2·4	= 1 : 1·4
„ Coluber Aescul.	= 1·4	: 1·4	= 1 : 1
„ Esox lucius	= 3·4	: 3·4	= 1 : 1 (Soemmering.)

Auch bei den Säugethieren und Vögeln haben die Wasserbewohner eine nahezu kugelige Linse (1 : 1).

[2] Matthiessen (*Dioptrik.* Leipzig 1877. S. 217) fand den Brechungsindex der Hornhaut des Seebarsches und des Dorsches gleich 1·38. Den Krümmuugsradius der vorderen Hornhautfläche des Hechtes nach Sömmering's Abbildung zu 14, den der Linse zu 4, den der hinteren Hornhautfläche mit einiger Annäherung zu 9 mm gesetzt, die Dicke der Hornhaut zu 1 mm: so hätten wir die Brennweite des auf die benetzende Wasserschicht an der Hornhautoberfläche folgenden Concavmeniscus

$$\varphi = \frac{n_1\, n_2\, r_1\, r_2}{(n_2 - n_1)\,[n_2\,(r_2 - r_1) + (n_2 - n_1)\, d]} = -\, 739^{\,\mathrm{mm}}$$

Hinsichtlich der Maasse eines grossen Hechtauges sei folgender Fall hervorgehoben:

Länge des Auges 15 mm, Breite 20 mm
„ der Linse 7 „ „ 7 „

Abstand der Netzhaut von der Vorderfläche der Hornhaut (Sehaxenlänge) 12 mm.

Beim Fischauge besteht wegen der Choroidaldrüse ihres Analogons immer ein verhältnissmässig beträchtlicher Unterschied zwischen Bulbus und Sehaxenlänge (15 : 12 mm, — beim Menschen 24 : 23 mm!)

Für ein Plötzenauge fand ich:

Länge des Auges 7 mm, Breite 10 mm
„ der Linse 3 „ „ 3·5 „

Glaskörperraum sehr eng.

Sömmering's Zeichnung ergiebt für ein sehr grosses Hechtauge eine

Sehaxenlänge von	15	mm
Augenaxenlänge	20	„
Hornhautbreite	20	„
Hornhautdicke	1	„ im Centrum
Vorderkammertiefe	< 1	„
Linsenlänge	7 1/2	„
Linsenbreite	7 1/2	„
Abstand zwischen hinterem Linsenpol und Netzhaut	5	„
Netzhautdicke	< 1/2	„

Sömmering's Beschreibung des Hechtauges lautet im Auszug:

Bulbus magnus, horizontaliter paullum oblongus. Corneae facies anterior cum posteriore minime concentrica. Choroïdea admodum crassa. Nervus opticus crassus; nervi medulla externe sclerotices et choroïdeae crassitiem flexuose penetrans, in caudam quasi ut in avibus complanata, originem praebet retinae forti. Ex hac nervi insertione processus quoque excurrit falciformis niger, versus marginem uveae inferiorem tendens,[1] ubi in campanulam Halleri prominentem pigmento

Aber wir kennen r_2 nicht genau genug und r_1 ist zu hoch gegriffen. Auch die menschliche Hornhaut ist eigentlich ein Concavmeniscus von etwa 8700 mm Brennweite. (Helmholtz, *Physiologische Optik*. S. 71.)

[1] Vgl. unten die opthalmoskopische Beschreibung.

nigro obductam, intus vero albam terminatur. Lenti campanula haec subtus affixa, in superiore vero parte ligamento albido latiusculo satis firmo cum vitreo corpore connectitur Lens globosa, hemisphaerio suo toto super iridem eminens, corneae quamvis proxima, non tamen ei presse accumbit neque pupillae aream implet, ita ut radii lucis multi inter lentem et pupillae limbum ad retinam perveniant. Humor aqueus paucissimus, vitreus parvus.

Vergleichen wir das Auge des lebenden Frosches mit dem des Fisches (Hechtes).

Der Augapfel des Frosches ist nahezu kugelrund, der des Fisches queroval. Die Hornhaut des Frosches ist durchaus regelmässig und genügend gewölbt, der Krümmungsradius nahezu gleich der halben Sehaxe; die Hornhaut des Fisches ist durchaus unregelmässig und dabei flach gewölbt, der Krümmungsradius gleich der doppelten Sehaxe und darüber. Die Einstellung des Froschauges in Luft ist scheinbar hypermetropisch, die des Fischauges in Luft stark myopisch; das von den brechenden Medien selbst entworfene Bild der Netzhautvorderfläche liegt einige Zoll hinter dem Froschauge in Luft und ist aufrecht, wenige Zoll vor dem Fischauge in Luft und ist umgekehrt: ein grösserer Unterschied der Einstellung kann kaum gedacht werden.

Bezüglich des Froschauges ist die bemerkenswerthe Thatsache zu constatiren, dass ihm jede Spur jener accommodativen Aenderung der Linsenwölbung fehlt, die wir beim Menschen so bequem objectiv nachweisen können.

Träufeln wir Atropinlösung in das gesunde Menschenauge, so wird dasselbe durch Abflachung der Krystalllinse für seinen fernsten Punkt eingestellt; träufeln wir Eserinlösung ein, so wird das menschliche Auge durch stärkere Wölbung der Krystalllinse auf seinen nächsten Punkt fest eingestellt.

Das Froschauge hat, wie die objective Untersuchung mit dem Augenspiegel lehrt, dieselbe Refraction vor wie nach der Atropin-, bez. Eserin-Einträufelung. Nach den Anatomen fehlt dem Froschauge der Ciliarmuskel. Uebrigens ist seine Krystalllinse ziemlich hart, fast kugelig und füllt den grössten Theil des Bulbusraumes aus; folglich ist jede stärkere accommodative Schwankung der Linsenform fast auszuschliessen.

Stellt ein Beobachter sein Auge mit Hilfe des Ophthalmoskops genau auf die Sehnervenfaserausstrahlung am unteren Rande der Papille ein, was bei der Schärfe des Bildes sehr gut angeht, so findet er regelmässig eine scheinbare Hypermetropie des in Luft getauchten Froschauges, welche je nach der Grösse des letzteren zwischen $\frac{1}{8}''$ und $\frac{1}{5}''$ (= 5 — 7·5 Diopt.) schwankt: d. h. das scheinbar von einem Punkte der Netzhautvorderfläche ausgehende Strahlenbündel verlässt das Froschauge divergent; in der Weise, als ob es von einem 8 bez. 5 Zoll (216 bez. 135 mm) hinter dem Frosch-

auge gelegenen Punkt ausginge. Bei den grösseren (ungarischen) Fröschen ist jene scheinbare Hypermetropie etwas geringer $\left(\frac{1}{8}''\right)$ als bei den kleineren gewöhnlichen $\left(\frac{1}{5}''\right)$.

Beim Menschenauge liefert die Einstellung auf den (temporalen) Sehnervenrand auch die wirkliche Refraction: wenigstens ist der Fehler unbedeutend, den der Tiefenabstand zwischen der beim Augenspiegeln lichtreflectirenden und der von uns nicht wahrnehmbaren, beim Sehact lichtpercipirenden Fläche der Stäbchen- und Zapfenschicht einführt: ein positiver Abstand von 0·3 mm würde eine scheinbare Hypermetropie von $\frac{1}{40}''$ oder 1 *D* einführen[1]; einem solchen von 0·15 mm, wie er factisch anzunehmen, entspräche eine Hypermetropie von $\frac{1}{80}''$, d. h. das schwächste in unserem Brillenkasten vorfindliche Glas, dessen optische Wirkung fast unmerklich ist.[2]

Anders liegen die Verhältnisse für den Frosch. Es ist eine höchst bemerkenswerthe Thatsache, dass, während die Sehaxe auf $^1/_3$ bis $^1/_4$ der menschlichen (nämlich auf 6—8 mm); die Constante $F_1 F_2$ auf $\frac{1}{25}$ des Werthes beim Menschen (nämlich auf $3 \times 4 = 12$)[3] reducirt ist, die Netzhautdicke von derselben Grössenordnung (etwa 0·3 mm) geblieben.

Setzen wir beim Frosch $\varphi_2 = -12\,\mu = -0.012$ mm; so wird $\varphi_1 = \frac{-12}{0.012} = \frac{-12 \times 1000}{12} = -1000$ mm. Die scheinbare *H* wird $\frac{1}{40}''$ (= 1 *D*), wozu beim Menschen der Tiefenabstand 25 Mal so gross (= 300 μ) sein müsste.

Dass sehr geringe Tiefenabstände in der Froschnetzhaut schon beträchtliche Refractionsunterschiede bedingen, ist sehr leicht nachzuweisen; hat der (nicht accommodirende) Beobachter durch ein passendes Glas hinter dem Augenspiegel sich auf die Sehnervenfaserschicht der Froschnetzhaut

---

[1] $F_1 F_2 = \varphi_1 \varphi_2$ giebt für das reducirte Menschenauge $15 \times 20 = \varphi_1 \varphi_2$; setzen wir $\varphi_1 = -1000$ mm, so wird $\varphi_2 = \frac{300}{-1000} = -0·3$ mm: w. z. b. w.

[2] Weit grösser ist mitunter, bei unregelmässiger Form des menschlichen Augapfels, der Unterschied des Radius vector, der vom Knotenpunkt zum Sehnervenrand einerseits und vom Knotenpunkt zur Fovea andererseits gezogen werden kann.

[3] F_1 = 3 mm nach Kühne's Optographie und meiner Ophthalmomikrometrie. Die Länge der Froschpapille hatte ich zu 0·5 angenommen; die genauere Mikrometrie ergiebt mir 0·455 mm. — In der Note S. 83 dieses Jahrgangs ist ein Rechenfehler uncorrigirt geblieben.

scharf eingestellt, so muss er das gefundene Correctionsglas noch mindestens um $+\frac{1}{10}$ bis $\frac{1}{8}''$ verstärken, damit der Blutstrom der so dünnen Vena hyaloïdes in vollster Deutlichkeit erscheine.

Um die Hypermetropie von $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{8}$ in Zollmaass (8 bis 5 Dioptrien) beim Frosch für eine scheinbare zu erklären, bedürfen wir nur der Annahme, dass die wirklich lichtauffangende Fläche 5×0.012 bis 8×0.012 $= 0 \cdot 06$ bis 0.096^{mm} hinter der Sehnervenfaserschicht liegt. Dieser Abstand ist aber thatsächlich noch grösser. Nach meiner Messung liegt die musivische Schicht etwa 0.2^{mm} hinter der Sehnervenfaserschicht in der Nähe der Papille. Nichts hindert uns, das Froschauge in Luft für myopisch zu halten.

$$\varphi_1 = \frac{F_1 \times F_2}{\varphi_2} = \frac{3 \times 4}{0 \cdot 2} = 60^{mm}$$

$$\frac{1}{60}^{mm} = + 16 \text{ Diopt.}$$

Wird dieser Betrag der scheinbaren Hypermetropie von 8 Dioptrien hinzugefügt, so bleibt eine wirkliche Myopie von 8 Dioptrien oder $^1/_5$ in Zollmaass. Dass der Frosch in Luft gut sieht und nicht bloss auf ganz kurze Distanzen, lehrt die Beobachtung, — wie geschickt er die Fliegen im Sprunge erhascht.

5 Zoll sind 135^{mm}. Ich will keineswegs behaupten, dass die Fernpunktsdistanz des Frosches in Luft nicht grösser sein könne. Aber für noch kleiner möchte ich sie nicht halten, und den Werth des Hrn. Plateau (35^{mm}) halte ich für ganz unwahrscheinlich. Kühne erhielt bei einer Objectdistanz von 250^{mm} scharfe Optogramme auf der Netzhaut des eben getödteten Frosches; auch dieses Resultat stimmt doch noch eher mit meinen Anschauungen als mit Plateau's Zahlen überein.

Wollten wir uns einen Augenblick auf den teleologischen Standpunkt stellen, so könnten wir sagen, dass für den Frosch, — schon um seine eigenen Glieder einigermaassen deutlich zu sehen, eine gewisse Kurzsichtigkeit zweckmässiger sei, als die Emmetropie, die den Menschen ziert.[1]

Auch ohne jede accommodative Linsenverdickung wird die Accommodationslinie beim Frosch länger sein, als bei einem auf dieselbe Entfernung eingestellten Menschen aus einem doppelten Grunde, einem dioptrischen und einem histologischen: die kurze Brennweite des dioptrischen Systems beim Frosch muss die Bilder der in ziemlich verschiedenen Entfernungen, vor und hinter seiner Fernpunktsebene, belegenen Gegenstände in eine kurze Strecke der Sehaxe zusammendrängen; die relative Breite der musivischen

[1] Os homini sublime dedit coelumque tueri jussit. Ovid.

Elemente [1] (bis 7 μ) muss absolut grössere Zerstreuungskreise eines leuchtenden Punktes zulassen, ehe die Wahrnehmungsfähigkeit aufhört. [2]

Die Hornhaut des Frosches hat im Pupillargebiet einen Krümmungsradius von etwa 4 bis 5 mm und ist ausserordentlich regelmässig gewölbt, genau so wie beim Menschen. Von einer Abplattung in der Hornhautmitte ist keine Spur am lebenden Frosch mit Hilfe der optischen Methoden zu entdecken. Die vordere Hauptbrennweite des brechenden Hornhautsystems ist $F_{1c} = 3 \times 4$ bis $3 \times 5 = 12$ bis 15 mm. Der Ausfall eines solchen Systems muss recht merkbar sein.

Wäre das Froschauge in Luft factisch nahezu normalsichtig, so müsste dasselbe, in Wasser getaucht, stark übersichtig werden und würde, um die Normalsichtigkeit beizubehalten, eine positive Taucherlinse brauchen, der in Wasser eine Brennweite von etwa $^1/_2$ Zoll zukommt, wie der Mensch unter Wasser eine solche von etwa $1^1/_4$ bis $1^1/_2$″ braucht.

Ist der Frosch in Luft kurzsichtig (mit Myopie $\frac{1}{8}$″ oder $\frac{1}{5}$″, Fernpunktsdistanz 216 mm oder 135 mm), so wird er in Wasser nicht bloss weniger kurzsichtig, sondern immer noch sehr stark übersichtig sein, da $\frac{1}{216}$ und selbst $\frac{1}{135}$ gegen $\frac{1}{12}$ nur wenig in Betracht kommt.

---

[1] Beim Menschen sind die Zapfen 32 = 36 μ lang, 4·5 — 6 μ breit, (in der Fovea 60 — 100 μ lang, 3 μ breit, an der Spitze sogar nur 1 μ)

Beim Fisch sind die Zapfen länger als beim Menschen.

Beim Frosch sind die Zapfen 20 μ lang, 5 μ breit.

Beim Menschen sind die Stäbchen 60 μ lang, 2 μ breit.

Beim Fisch sind die Stäbchen 74 μ (und mehr) lang. 2·5 μ breit.

Beim Frosch sind die Stäbchen 6 — 7 μ breit.

[2] Es sei für den Menschen $F_1 \times F_2 = 300$, für den Hecht in Wasser $= 8 \times 8 = 64$. für den Frosch in Luft $= 3 \times 4 = 12$; φ_1 sei die Object-, φ_2 die Bilddistanz, von den Hauptbrennpunkten ab gerechnet. Die Pupillenbreite p sei 4 mm für den Mensch, 7 mm für den Hecht, 4 mm für den Frosch. Dann ist die Breite der Zerstreuungskreise eines Lichtpunktes $Z = p \frac{F_1}{F_1 + \varphi_1}$, wenn das Auge emmetropisch vorgestellt wird. (Vgl. Helmholtz, *Physiologische Optik.* S. 100.) Man erhält die folgende Tabelle.

Mensch.			Hecht.			Frosch.		
φ_1	φ_2	Z	φ_1	φ_2	Z	φ_1	φ_2	Z
∞	0	0 mm	∞	0	0	∞	0	0
65000	0·05	0·0011	65000	0·0009	0·0008	65000	0·00018	0·00018
12000	0·025	0·0056	12000	0·005	0·0046	12000	0·001	0·0011
3000	0·100	0·0222	3000	0·021	0·0119	3000	0·004	0·004
750	0·40	0·08	750	0·08	0·074	750	0·016	0·016
94	3·2	0·5	94	0·7	0·55	94	0·12	0·12

Das beim Eintauchen des Froschauges in Wasser die Refraction des Auges sich stark verringert, lehrt der Versuch. Ich sah mit einem Convexglas von $7^1/_2''$ Brennweite ($= 5\ D$) hinter dem Spiegel im aufrechten Netzhautbilde den Gefässbaum der Vena hyaloïdes; träufelte einige Wassertropfen auf die Cornea und legte (ohne jeden Druck) ein kleines Stückchen eines Deckgläschens auf: jetzt brauchte ich ein Correctionsglas von $+ 2^1/_2''$ ($= 16\ D$) hinter dem Spiegel, um den Gefässbaum einigermaassen deutlich zu erkennen; doch fehlten mir noch stärkere Gläser zum Vergleich; das Bild war nicht ganz scharf und stark verkleinert.[1]

Soviel ist sicher, dass in anatomischer Hinsicht durch die Wölbung der Cornea, in functioneller durch die scheinbare Hypermetropie das Froschauge sich dem Auge der Landthiere nähert, während allerdings die kugelige Wölbung seiner Krystalllinse wieder mehr dem Fischauge zu entsprechen scheint.

Wahrscheinlich ist, dass wir dem Froschauge in Luft eine einigermaassen kurzsichtige Refraction zuschreiben müssen; die Netzhautdicke ($0 \cdot 2^{mm}$) kommt schon gegenüber der kurzen Brennweite des Systems ($F_1 \times F_2 = 12$) erheblich in Betracht: so sicher man auch beim lebenden Frosch die Refraction für die Netzhautvorderfläche bestimmen kann, die musivische Schicht, auf welche es hierbei functionell allein ankommt, kann man nicht am lebenden Auge mit dem Spiegel einstellen.

Es erübrigt noch, einige der an Froschaugen angestellten Messungen in Kürze mitzutheilen. Bei einem gewöhnlichen Frosch, dessen Augengrundsbild das Eigenthümliche hatte, dass die Arteria hyaloïdes nicht weit von der Papilla (nasenwärts) verlief, und deshalb zu der Anfertigung unserer schematischen Zeichnung benutzt wurde, war die Breite der Hornhaut 7^{mm}, der Pupille $4^1/_2{}^{mm}$, des im Verhältniss zum Fischauge sehr regelmässigen Scheibenreflexbildes 2^{mm}, also der Krümmungsradius der Hornhaut etwa 4^{mm}. Die scheinbare Hypermetropie war $\frac{1}{8}'' = 5\ D$, wenn ich für das Sehnervenfaserbündel einstellte, welches vom unteren Rande der Papilla schläfenwärts ausstrahlt. Ich träufelte in das rechte Auge von einer $^1/_2\,^0/_0$ Atropin-, in das linke von einer $^1/_2\,^0/_0$ Eserinlösung. Nach einigen Stunden war beiderseits die Pupille ein wenig enger als zuvor, jedenfalls kein merkbarer Unterschied zwischen beiden Pupillen und beiderseits die scheinbare Hypermetropie ein wenig erhöht (auf $\frac{1}{5}'' = 8\ D$), aber

[1] Da ich Hypothesen nicht erörtern will, lasse ich ganz dahin gestellt, ob der Frosch überhaupt einen Accommodationsapparat besitzt, um diesen Defect an Brechung unter Wasser auszugleichen, ob er z. B. seinen aus der Orbita frei hervorragenden Augapfel durch Druck seitens der Lider zu verlängern im Stande ist. Es wäre wünschenswerth, den Frosch beim Schwimmen genauer zu beobachten, als mir dies möglich ist.

zwischen beiden Augen kein merklicher Unterschied. (Die Einstellung auf die Vena hyaloïdes gab noch eine stärkere *H*, von 13 *D*.)

Ein zweiter Frosch zeigte:

Breite der Hornhaut	7 mm
„ „ Reflexbilder von der Hornhaut 2 (also $r = 4$ mm); der Pupille	4 „

Die scheinbare Hypermetropie war $^1/_8{}'' = 5\,D$. In das rechte Auge wurde Atropin, in das linke Eserin geträufelt.

Nach einigen Stunden war die scheinbare Refraction dieselbe wie zuvor und gleich für beide Augen. Die scheinbare Refractionsdifferenz für Einstellung auf die Vena hyaloïdes und auf die Sehnervenfaserschicht betrug $+ 6\,D$.

Am folgenden Tage war die Atropinpupille 4 mm breit
die Eserinpupille 3 „ „

Die scheinbare Refraction wenig geändert ($Hto\,\frac{1}{6^1/_2}{}'' = 6\,D$) und gleich für beide Augen.

Bei einem gewöhnlichen Frosch war beiderseits

die Breite der Hornhaut	7 mm	
„ „ „ Pupille	4 „	bei Gaslicht;
„ „ des Scheibenreflexbildes fast	2 „	
„ „ „ Fensterreflexbildss . .	0·5 „	

Danach berechnet sich r auf 3·5 (bis 4) mm. Die Spiegelung der Hornhaut im praepupillaren Theil war durchaus so regelmässig wie beim normalen Menschenauge. Die scheinbare Hypermetropie betrug $\frac{1}{5}{}''$ (8 *D*) für die Sehnervenfaserung, $\frac{1}{3}{}''$ (13 *D*) für die Vena hyaloïdes; beiderseits gleich.

Rechts Atropin, links Eserin eingeträufelt, nach 1 h dieselbe Refraction. Einträufelung wiederholt.

Am folgenden Tage dieselbe Refraction. Dieser Versuch wurde bei einem Sommerfrosch wiederholt und genau dieselben Zahlen und Resultate gewonnen.

Bei einem grossem (ungarischen) Frosch war

die Breite der Hornhaut	$9^1/_2$ mm	
„ „ „ Pupille	6 „	(bei Gaslicht)
„ „ des Scheibenreflexbildes . . .	$2^1/_2$ „	

im praepupillaren Theile der Hornhaut. ($r = 5$ mm.)

Das Reflexbild der Fensterbreite betrug $^3/_4$ mm. ($r = 5·2$ mm.)

Die scheinbare H betrug 5 $D = \frac{1}{8}$ (Zoll), wenn man für die Sehnervenfaserausstrahlung am unteren Rande der Papille einstellte. Um den Doppelstrom in der Vena hyaloïdes am unteren Sehnervenrande scharf wahrzunehmen, war ein um 3 bis 4 D $\left(= \frac{1}{12}\text{ bis } \frac{1}{10}''\right)$ stärkeres Convexglas erforderlich. Am linken Auge desselben Thieres erhielt ich dieselben Werthe: die Pupille war im freien Tageslicht etwa 5.5 mm breit; ein Wechsel der Pupillenbreite bei abwechselnder Belichtung und Beschattung, wie beim gesunden Menschenauge, konnte nicht constatirt werden.[1]

Auf das rechte Auge wurde Atropinlösung ($^1/_2$ %) reichlich getupft, auf das linke Eserinlösung (1 %). Nach einer Stunde, wo bei einem gesunden Menschen die Pupille des rechten Auges etwa 8—9 mm, die des linken etwa 1 mm breit geworden, und das rechte auf seinen absoluten Fern-, das linke auf seinen Nahepunkt festgestellt sein würde, konnte ich an den Pupillen und in der scheinbaren Hypermetropie, also in der Refraction, einen Unterschied nicht wahrnehmen.

Die Einträufelungen wurden wiederholt; am folgenden Morgen war die Pupillenbreite und die scheinbare H wie vor der Einträufelung.

Die anatomische Untersuchung des Auges vom grossen (ungarischen) Frosch ergab am Horizontalschnitt:

Breite des Auges (des Aequators) = 10 mm
Länge „ „ „ „ $8^1/_2$ „
Hornhaut gut gewölbt.
Vorderkammer eng.
Breite der Linse 6 mm
Dicke „ „ 5 mm, also mehr als beim Menschen.

Die Linse füllt fast den ganzen Bulbusraum; zwischen ihr und der Retina bleibt ein mit Glaskörper gefüllter Spalt, der nicht viel breiter ist als die Vorderkammer.

Ich mass an einem Dickendurchschnitt vom gehärteten Froschauge, welcher Papilla und angrenzende Retina enthält, in letzterer

die Dicke der musivischen Schicht	= 74 μ
„ „ „ äusseren Körnerschicht . . .	= 18·5 μ
„ „ „ Zwischen-Körnerschicht . . .	= 18·5 μ
„ „ „ inneren Körnerschicht . . .	= 92·5 μ
„ „ „ grauen Molecularschicht . .	= 55·5 μ
„ „ „ Ganglienschicht	= 18·5 μ
„ „ „ Sehnervenfaserschicht . . .	= 37 μ
Summa	314·5 μ = 0·3 mm.

[1] Papilla . . tardissime movetur. Soemmering, l. c. p. 58.

Ich konnte in der mir zugänglichen Literatur eine ähnliche Messung der Froschretina nicht auffinden, will der meinigen auch keinen allgemeingültigen Werth beilegen; glaube aber, dass sie genügt, eine Grundlage für unsere annähernde Refractions-Berechnung abzugeben.

In Sömmering's Horizontalschnitt von Rana temporaria ist die

Augenachse	$6^{3}/_{4}$ mm
Sehachse	$6^{1}/_{4}$ "
Vorderkammertiefe	1 "
Linsendicke	4 "
Abstand zwischen hinterem Linsenpol und Netzhaut	$1^{1}/_{4}$ "

Seine Beschreibung lautet im Auszug:

Ranae temporariae bulbus oculi maximus, fere globosus, ante paullum depressus. Cornea magna, circularis, parum convexa, segmentum ejusdem sphaerae quam sclerotica efficit. Lens grandissima, fere globosa, maximum oculi spatium occupans, ita ut corneae et retinae proxima sit.

Vielleicht ist es nicht unzweckmässig, aus Sömmering's eigner Tabelle einen Auszug, betreffend das Auge des Menschen, des Frosches und des Hechtes, beizufügen. Das Längenmaass ist die Linie.

Mensurae oculorum.

	Bulbi.		Corneae.			Lentis.				Corporis vitrei.		
	Axis.	Diameter.	Diameter.	Radius convexitatis anterioris.	Distantia a lente.	Axis.	Diameter.	Radius convexitatis anterioris.	Radius convexitatis posterioris.	Axis.	Diameter.	Radius convexitatis posterioris.
Puella XX annorum	10·0	9·5	4·5	3·3	1·3	1·6	3·6	4·2	2·4	6·2	8·7	4·4
Rana temporaria	3·2	3·8	2·6	2·1	0·4	1·6	2·0	1·1	1·0	0·6	3·4	1·8
Esox lucius.	8·5	10·5	8·5	6·0	0·2	3·4	3·4	1·7	1·7	2·0	7·7	4·2

Aber ist es mir denn gelungen, mit den wenigen einfachen Versuchen, wie sie die spärliche Musse des beschäftigten Praktikers zulässt, in der That die grosse Zahlenreihe zu entkräften, welche Hr. Plateau nach langem, sorgsamem, über die ganze Wirbelthierreihe ausgedehntem Studium in seiner preisgekrönten Denkschrift niedergelegt hat? Mit Recht sagt Plateau, dass vor ihm die Literatur zwar zahlreiche anatomische Forschungen, aber in physiologischer Hinsicht nur theoretische Erörterungen, keine directen Ver-

ersuche über das Sehen der Amphibien und Fische enthalten habe. Und elche Versuche hat er denn selber am lebenden Auge angestellt? Er isst das Fensterkreuz von der Hornhaut eines lebenden Fisches spiegeln. ı der Mitte erscheint das Kreuz fast gerade, während oben und unten die inien sich krümmen und zurücktreten: „Tandis que les portions supérieures t inférieures s'incurvent et fuient". Hieraus schliesst er, dass die Krümnung in der Mitte einer Ebene sich nähert, am Rande viel stärker sei. on einer Messung der Breite der Reflexbilder ist keine Rede. Er verisst auch sofort diese Methode und giebt dem Eingypsen der herausgeommenen Augen den Vorzug. Er zeichnet die Contourlinien der Gypsnodelle und bildet sie ab. Er erhält für die Hornhautcontur bei Fischen nd Amphibien die Form eines vorn abgestumpften Kegels. Niemals findet ıan den Durchschnitt gut gehärteter Amphibien- und Fischaugen von olcher Form.

Auch in den klassischen Abbildungen von Sömmering ist davon ichts zu entdecken, wiewohl wir auch hier den Epicyclus der Fischcornea ermissen, der ja aber nicht gerade genau in die Horizontalebene hineinufallen braucht.

Das Eingypsen giebt die Form des menschlichen Fusses unter norıalen und pathologischen Verhältnissen genau wieder, aber nicht die der 'isch- und Froschcornea, und kann mit der optischen Reflexmethode nicht n Genauigkeit verglichen werden. Beim Eingypsen wurde der Epicyclus ntweder platt gedrückt oder falsch localisirt.[1] Beim Hecht fand Plateau en Krümmungsradius des angeblich abgeplatteten Hornhautcentrums $= 17\frac{1}{2}$ is 20^{mm}, den der lateralen Hornhautpartieen $= 8^{mm}$, die Breite der abeplatteten Partie 4^{mm} und die Breite der ganzen Hornhaut $= 13^{mm}$.

Ich fand bei einem Hecht, dessen Hornhaut 12^{mm} breit war, am emporalen Rande des Pupillarbereiches auch einen Hornhautradius von 6^{mm}, aber vor der Mitte der Pupille, und vor dem nasalen Rande einen olchen von 12^{mm}.

Uebrigens musste Plateau mitunter, wenigstens bei Vögeln (l. c. p. 24) inen gewissen Druck auf den herausgenommenen Augapfel ausüben, um ım die zum Modelliren geeignete Form zu geben! Bei Rana temporaria and er in der abgeplatteten Mitte der Hornhaut den Krümmungsradius von bis 11^{mm}, am Rande der Hornhaut von 4^{mm}, die Augenaxe 8^{mm}; bei 'ana esculenta den Krümmungsradius in der flachen Mittelpartie der Horn-

[1] Plateau, l. c. Explication de la planche: Chaque figure représente la coupe orizontale, telle que la donne le moulage; le crystallin y a été ajouté ensuite. (Sic!) Für den Hecht (Fig. 1) ist die Linse sicher nicht richtig wieder hineingepackt orden: der Zonularraum ist beim lebenden Thiere nasenwärts breiter, in Plateau's igur aber schläfenwärts.

haut 5 bis 6 mm, am Rande 3 mm, die Augenaxe 5·5 mm. Hierzu habe ich zweierlei zu bemerken: 1) Der Spiegelversuch, namentlich mit dem Keratoskop, zeigt unwiderleglich, dass im Pupillarbereich die Hornhaut des Frosches so regelmässig gekrümmt ist wie die des Menschen, und je nach der Grösse des Auges Krümmungsradien von 4—5 mm besitzt. 2) Die Zahlen des Hrn. Plateau als richtig zugegeben, wie kann man die Wirkung einer solchen Hornhaut in Luft = 0 setzen, wenn ihre vordere Hauptbrennweite zwischen 27 und 33 mm nach seinen eigenen Zahlen zu berechnen wäre? Nach meinen beträgt sie zwischen 12 und 15 mm.

Hr. Plateau hat endlich am hinteren Pol des herausgenommenen Auges ein Lichtfenster präparirt, in dasselbe ein passendes Stück (fragment convenable) aus einer geblasenen Hohlglaskugel eingesetzt, das er zwischen Sclerotica und Glaskörper einschob, und nun die Einstellung eines solchen Auges in Luft und in Wasser gemessen. Er fand für den Hecht die Fernpunktdistanz in Luft 40, in Wasser 50 mm; für den Frosch in Luft 35, in Wasser 36 mm. Diese Resultate sind an sich unwahrscheinlich und im Widerspruch mit der Dioptrik.[1] Trotz der angewendeten Lupenvergrösserung ist die Exactheit seiner Methode nur eine scheinbare. Beim Fisch liegt die Netzhautebene beträchtlich vor der Sclerotica. Bei Sömmering messe ich die Augenaxe des Hechtes = 20 mm, die Sehaxe = 15 mm. Differenz 5 mm oder $^1/_4$ der Sehaxenlänge. Beim Menschen beträgt dieselbe Differenz nur $^1/_{24}$.[2] Plateau's künstliche Netzhaut liegt beträchtlich hinter der natürlichen; das künstliche Auge muss auch in Wasser excessiv kurzsichtig sein. — Beim

[1] Selbst wenn wir dem Hechtauge unter Wasser eine so excessive Myopie geben wollten, dass die Hinzufügung eines brechenden Hornhautsystems von 20 mm Radius (Plateau's Maximum), also 60 mm vorderer Brennweite keine erhebliche Verrückung des Fernpunktes einführte, würden wir die obigen Zahlen nicht erhalten können. $\frac{1}{50} + \frac{1}{60} = \frac{110}{3000} = \frac{1}{27}$. Wäre die Fernpunktsdistanz des Hechtauges in Wasser 50 mm, so müsste sie in Luft 27 mm betragen. $\frac{1}{40} - \frac{1}{60} = \frac{20}{2400} = \frac{1}{120}$. Wäre die Fernpunktsdistanz desselben in Luft 40 mm, so würde sie in Wasser 120 mm ausmachen.

Vollends beim Frosch, wo r nach Plateau 10 mm max. betragen soll.

$\frac{1}{36} + \frac{1}{30} = \frac{1}{15}$. Wäre die Fernpunktdistanz des Froschauges in Wasser 36 mm, so würde sie in Luft 15 mm betragen.

$\frac{1}{35} - \frac{1}{30} = -\frac{1}{210}$. Wäre die Fernpunktdistanz derselben in Luft + 35 mm, so müsste sie unter Wasser —210 mm betragen.

[2] Meine eigene Messung ergab für den Hecht:

Augenaxe $s = 15$ mm
Sehaxe $\sigma = 12$ mm
$s - \sigma = \frac{1}{5} s$.

Frosch fehlt diese Fehlerquelle, dagegen ist durch die Kleinheit des Auges eine neue, ebenso beträchtliche, eingeführt.

Mit der ophthalmoskopischen Refractionsmessung des lebenden Auges, wo höchstens Fehler entsprechend der Netzhautdicke begangen werden, kann Plateau's Verfahren nicht verglichen werden.

Ich resumire: Hr. Plateau ist darum zu unrichtigen Resultaten gelangt, weil er, 16 Jahre nach Erfindung des Augenspiegels und 12 Jahre nach Construction des Ophthalmometers, von den physikalischen Untersuchungsmethoden des lebenden Auges, die uns Helmholtz schenkte, nicht die gebührende Notiz genommen hat.

Den Schluss dieser kleinen Studie mögen die Skizzen der Augengrundsbilder einiger Fische und des Frosches bilden.

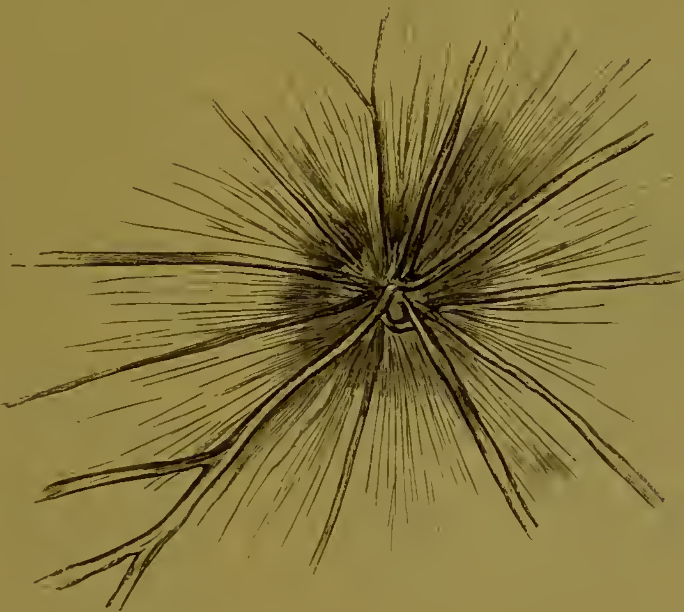


Fig. 5.

Plötze, aufrechtes Netzhautbild des rechten Auges.

Das Augengrundsbild einer kleinen Plötze ist auf Fig. 5 dargestellt. Der Sehnerveneintritt bildet eine im Ganzen rundliche, aber leicht zackig und nicht ganz scharf begrenzte und mit einem flügelförmigen Fortsatz nach innen oben zu versehene weissliche Figur, von der aus die radiär angeordneten, weisslichen Sehnervenfaserbündel in die umgebende Netzhaut hineinstrahlen.[1] Diese erscheint graugrünlich, in der Peripherie zart röthlich.

[1] Die Sehnervenfasern in der Netzhaut etlicher Fische besitzen eine zarte Markscheide.

Die Blutgefässe, welche aus dem Mittelpunkt des Sehnerveneintritts hervorkommen und die ganze Netzhaut, soweit dieselbe sichtbar, überziehen, sind im ganzen radiär angeordnet, dichotomisch verästelt, mit centralem Reflexstreif wie in der menschlichen Netzhaut versehen. Bei den Hauptästen kann man, wie es scheint, die arteriellen von den venösen unterscheiden, die ersteren sind etwas schmäler und heller roth als die letzteren.

Das Centrum der weissen Sehnervenscheibe, der Sammelpunkt der convergirenden Blutgefässe, ist dunkelgrauroth gefärbt.

Bei grösseren Plötzen sieht man deutlich, dass 1) das rundliche Centrum der weissen Sehnervenscheibe an sich dunkelgrau gefärbt und nur mit verhältnissmässig breiten und zahlreichen rothen Streifen, den Blutgefässen, belegt ist; und dass 2) einzelne von den auch in unserer Figur angedeuteten Blutgefässbögen in den Glaskörperraum hineinragen.

Das Augengrundsbild des Aales gestaltet sich nach Fig. 6. (Aufrechtes Netzhautbild des rechten Auges von einem kleinen Aal; nach dem umgekehrten, mit einer Linse von 2″ Brennweite gewonnenen vergrössert) folgendermaassen:



Fig. 6.

Aal. Rechtes Auge. Aufrechtes Netzhautbild.

Eine eigentliche Papille ist nicht vorhanden, sondern nur der Mittelpunkt der retinalen Sehnervenfaserausstrahlung nachweisbar.

Von diesem Mittelpunkt aus ziehen kräftig gezeichnete schmale, weissliche Sehnervenfaserbündel, radiär angeordnet, ziemlich weit hinein in die Netzhaut, im Ganzen etwa 2—3 Dutzend, so dass zwischen je zwei Bündeln ein Winkel von ungefähr 10° bleibt.

Der Convergenzpunkt der Sehnervenfaserbündel fällt zusammen mit dem Confluenzpunkt der retinalen Blutgefässe. Die letzteren ziehen etwa nach vier diagonalen Richtungen, zwei kiemenwärts, drei nach der entgegengesetzten Richtung. Wie es scheint sind drei venöse und zwei etwas feinere und heller rothe arterielle Aeste vorhanden, doch ist das Bild nicht deutlich genug, um dieses zu entscheiden. Die Blutgefässe sind roth, mit centralem Reflexstreif, wie auf der menschlichen Netzhaut.

Das Bild des linken Auges, namentlich auch die Vascularisation, war ebenso wie das des rechten: Zwei starke Gefässe ziehen dicht neben ein-

ander von innen unten her nach dem anatomischen Mittelpunkt der Netzhaut.

Das Augengrundsbild des Hechtes (vgl. Fig. 7) weicht von dem der bisher betrachteten Fische erheblich ab.

Blickt man nach aussen unten in das Hechtauge, so sieht man einen eigenthümlichen, sehr langen, weissen, fast wurmähnlichen, von aussen oben nach innen unten gerichteten Streifen, der sich deutlich in drei Abschnitte gliedert.

Der oberste Theil des, wie es scheint, cylindrisch hervorragenden Streifens beginnt mit einer knopfförmigen Anchwellung, ist parallelrandig und beiderseits mit einem schmalen Pigmentsaum versehen. Der mittlere Theil ist bauchig angeschwollen und trägt eine ähnlich gestaltete schwarze Pigmentinsel. Der unterste Theil ist dünn, fast fadenförmig und sein unteres Ende im Augenspiegelbilde nicht zu erreichen.

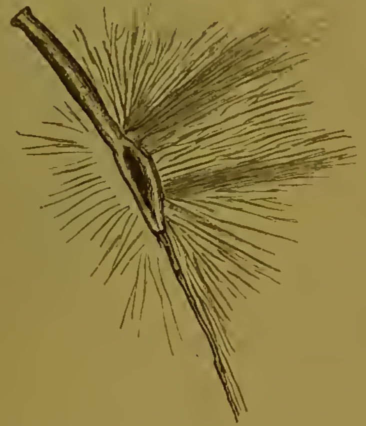


Fig. 7.
Aufrechtes Bild des rechten Auges vom Hecht.

Nur von dem mittleren Theil scheinen die Sehnervenfasern auszustrahlen und zwar mehr nach innen als nach aussen. In der inneren Hälfte der Sehnervenfaserausstrahlung heben sich zwei kräftige Bündel besonders ab, welche ungefähr von dem oberen und von dem unteren Ende des bauchigen Theiles vom Papillarstreifen auszugehen scheinen.

Der ganze sichtbare Augengrund ist vollkommen gefässlos und röthlich, soweit nicht die Sehnervenfaserausstrahlung einen weisslichen oder weissgrünlichen Farbenton darüber legt. Bei anderen Exemplaren war temporalwärts überhaupt keine Sehnervenfaserung zu entdecken; am obersten Theil des Streifens fehlte der Pigmentsaum zu einer Seite, am mittleren Theil war die Pigmentinsel mehr nach der einen Seite verlagert.

Mit dieser Schilderung des Augenspiegelbefundes, die ich vor jeder eigenen anatomischen Untersuchung entworfen, wolle man die oben schon mitgetheilte Beschreibung von Sömmering vergleichen.

Das Augengrundsbild des Frosches ist genügend bekannt und auch von mir selber schon ausführlich geschildert. Für die Entwerfung der beifolgenden schematischen Zeichnung (Fig. 8) wurde ein Exemplar benutzt, bei dem die Art. hyaloides ziemlich nahe der Vena verlief. Die glitzernden Punkte des Augengrundes wurden fortgelassen. Das Capillarnetz ist nur theilweise wiedergegeben.

p Papille.
v Venen.
V Vena hyaloides (Hauptstamm).
a Arteria hyaloides.
C_1 Capillarnetz, in welches die Arterie sich auflöst.
C_2 Capillarnetz, welches die Vene zusammensetzt.
C_3 Capillarnetz, welches in gröbere Venenäste hineinmündet.
Die Pfeile bedeuten die Stromesrichtung.



Fig. 8.
Aufrechtes Bild des rechten Auges vom Frosch.

Anhang. Elementare Dioptrik der Kugellinsen.[1]

O sei ein beliebiger Axenpunkt, von welchem ein beliebiger Strahl *OJ* auf die kugelige Trennungsfläche $B_1 B_2$ (etwa zwischen dem Medium

[1] Seitdem man nicht mehr geschmolzene Kügelchen zu einfachen Mikroskopen verwendet, ist dieses Capitel scheinbar ohne praktischen Werth und deshalb in den neuen Lehrbüchern stiefmütterlich behandelt. Die Dioptrik von Mathiessen (Leipzig 1877. S. 118) hat 5, die von Ferraris-Lippich (Leipzig 1879. S. 90) 7 Zeilen über diesen Gegenstand. Der alte Klügel (Leipzig 1778) ist ausführlich, aber nicht ganz bequem für unsere Zwecke.

I = Luft und dem Medium II = Glas) fällt. Der Radius MJK ist das Einfallsloth, $\angle\, OJK = \angle\, J$ ist der Einfallswinkel, $\angle\, MJP = \varrho$ der Brechungswinkel. Wenn alle Strahlen nahezu senkrecht auf $B_1 B_2$ ein-

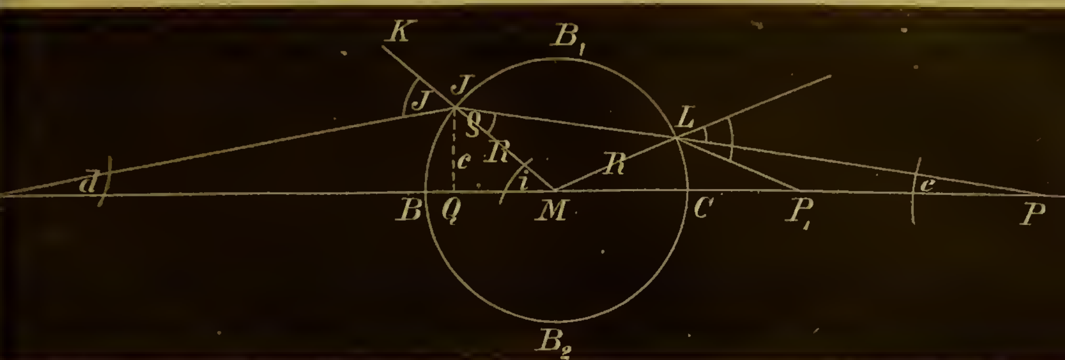


Fig. 9.

fallen, d. h. alle Einfallswinkel so klein sind, dass sie gleich ihren Sinus oder Tangenten gesetzt werden können (d. h. Q_1 der Fusspunkt des Lothes $JQ = c$, sehr nahe an B fällt), so ist das Brechungsgesetz

1) $n_1 J = n_2 \varrho$ oder $J = \frac{n_2}{n_1} \varrho$; 1[a]) $\varrho = \frac{n_1}{n_2} J$. Ferner ist immer
2) $J = d + i$
3) $i = \varrho + e$ oder 3[a]) $\varrho = i - e$.

Wird in 1[a] für ϱ der Werth von 3[a], und für J von 2 eingesetzt, so folgt

$$i - e = \frac{n_1}{n_2}(d + i) \text{ oder } \frac{n_2}{n_1}(i - e) = d + i$$

$$\text{oder } n_2\left(\frac{c}{R_1} \cdot - \frac{c}{f_2}\right) = n_1 \frac{c}{R_1} + n_1 \frac{c}{f_1},$$

wenn $OB = OQ = f_1$ und $BP = QP = f_2$ gesetzt wird. R_1 ist der Krümmungsradius der ersten Kugelfläche; c hebt sich fort: es bleibt

$$\frac{n_2}{R_1} - \frac{n_1}{R_1} = \frac{n_2}{f_2} + \frac{n_1}{f_1} \quad \text{oder}$$

$$\text{I.} \quad \frac{n_2 - n_1}{R_1} = \frac{n_1}{f_1} + \frac{n_2}{f_2}.$$

Diese Gleichung bestimmt eindeutig den Vereinigungspunct des schmalen, von O divergirenden Strahlenbündels. Ist das System (R_1, n_1, n_2) bekannt und die Objectferne f_1 gegeben, so wird aus Gleichung I die Bildferne f_2 gefunden. Ist speciell $f_1 = \infty$, so wird der dazu gehörige Werth von f_2, den wir F_2 nennen wollen, gegeben durch

$$\frac{n_2 - n_1}{R_1} = \frac{n_2}{F_2} \quad \text{oder II.} \quad F_2 = \frac{n_2 R_1}{n_2 - n_1}.$$

Ist $f_2 = \infty$, so ist der dazu gehörige Werth von f_1, den wir F_1 nennen wollen,

$$\text{III.} \quad F_1 = \frac{n_1 R_1}{n_2 - n_1}.$$

F_1 und F_2 sind die Hauptbrennweiten des einfachen Systems.

Folgt auf der nämlichen Axe bald hinter $B_1 B B_2$ noch eine zweite Kugelfläche $B_1 C B_2$ zwischen Medium II und III (III kann wieder Luft sein), so können wir die Formel I sofort auf die Brechung an dieser zweiten Fläche anwenden. Wir haben aber zu berücksichtigen, dass die Concavität dieser Kugelfläche dem einfallenden Strahl zugewendet ist und deshalb der Radius R_2 derselben negativ zu nehmen und statt n_2 immer n_1 und statt n_1 immer n_2 zu setzen ist. Denn das erste Medium für die zweite Brechung setzen wir identisch dem zweiten Medium für die erste Brechung. Das dritte Medium sei identisch mit dem ersten. Es sei P_1 der definitive Bildpunkt und seine Entfernung von der zweiten Kugelfläche $P_1 C = \varphi_2$. Die Entfernung des Objectpunktes für die zweite Brechung (P) von der zweiten Kugelfläche ist $PC = -\varphi_1$, negativ zu setzen, weil der Objectpunkt im Gange der Lichtstrahlen hinter der brechenden Fläche ($B_1 C B_2$) belegen ist.

Dann gilt also laut Gl. I:

$$1) \quad \frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1} \left\{ \frac{n_1 - n_2}{-R_2} - \frac{n_2}{-\varphi_1} \right\} \text{ oder } \frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1} \left\{ \frac{(n_2 - n_1)}{R_2} + \frac{n_2}{\varphi_1} \right\}$$

Nun ist 2) $BP - BC = CP$

oder $f_2 - [R_1 + R_2] = \varphi_1$. Uebrigens ist nach der Voraussetzung einer Kugellinse $R_1 = R_2$ in absolutem Maasse; also

$$3) \quad \frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1} \left[\frac{n_2 - n_1}{R} + \frac{n_2}{f_2 - 2R} \right].$$

Wir suchen zunächst nur den Vereinigungspunkt parallel auf die erste Kugelfläche fallender Strahlenbündel, d. h. wir setzen $f_1 = \infty_1$, dann wird speciell $f_2 = \frac{n_2 R}{n_2 - n_1}$: also

$$4) \quad \frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1} \left[\frac{n_2 - n_1}{R} + \frac{n_2}{\frac{n_2 R}{n_2 - n_1} - 2R} \right]$$

$$\frac{1}{\varphi_2} = \frac{1}{n_1} \left[\frac{(n_2 - n_1)}{R} + \frac{n_2 (n_2 - n_1)}{n_2 R - 2R(n_2 - n_1)} \right]$$

$$\frac{1}{\varphi_2} = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_1} \right) \left[\frac{n_2 R - 2R(n_2 - n_1) + n_2 R}{R(n_2 R - 2R[n_2 - n_1])} \right]$$

$$\frac{1}{\varphi_2} = \frac{n_2 - n_1}{n_1} \left[\frac{2n_2 - 2(n_2 - n_1)}{n_2 R - 2R(n_2 - n_1)}\right]$$

$$\frac{1}{\varphi_2} = \frac{2(n_2 - n_1)}{n_1 R} \left[\frac{n_2 - n_2 + n_1}{n_2 - 2n_2 + 2n_1}\right]$$

$$\frac{1}{\varphi_2} = \frac{2(n_2 - n_1)}{n_1 R} \times \frac{n_1}{(2n_1 - n_2)}$$

$$\text{II.} \quad \varphi_2 = \frac{(2n_1 - n_2)R}{2(n_2 - n_1)}.$$

φ_2 giebt den Abstand des hinteren Brennpunktes der Kugellinse von der Hinterfläche derselben. Es ist klar, dass der optische Mittelpunkt der Kugellinse (der Knotenpunkt) mit dem geometrischen zusammenfällt. Denn ein durch letzteren zielender Strahl fällt lothrecht auf beide Kugelflächen und wird nicht abgelenkt.

Beispiel 1) Eine Glaskugel sei in Luft getaucht: $n_1 = 1$; $n_2 = \frac{3}{2}$.

$$\varphi_2 = \frac{2 - \frac{3}{2}}{2(\frac{3}{2} - 1)} R = \frac{\frac{1}{2}R}{2 \times \frac{1}{2}} = \frac{1}{2}R.$$

Der Vereinigungspunkt des parallel der Hauptaxe auf die gläserne, in Luft befindliche Kugellinse fallenden Strahlenbündels liegt um die Hälfte des Radius hinter dem hinteren Pol der Kugel.

2) Eine Wasserkugel sei in Luft getaucht: $n_1 = 1$, $n_2 = \frac{4}{3}$.

$$\varphi_2 = \frac{(2 - \frac{4}{3})R}{2(\frac{4}{3} - 1)} = \frac{\frac{2}{3}R}{\frac{2}{3}} = R.$$

Der Vereinigungspunkt liegt um die Länge des Radius hinter dem hinteren Pol der Kugel.

3) Eine Glaskugel sei in Wasser getaucht: $n_1 = \frac{4}{3}$; $n_2 = \frac{3}{2}$

$$\varphi_2 = \frac{(2 \cdot \frac{4}{3} - \frac{3}{2})R.}{2(\frac{3}{2} - \frac{4}{3})} = \frac{(\frac{8}{3} - \frac{3}{2})R}{\frac{2}{6}} = \frac{\frac{16}{6} - \frac{9}{6}}{\frac{2}{6}} R$$

$$= \left(\frac{16 - 9}{2}\right) R = \frac{7}{2}R = 3\tfrac{1}{2}R.$$

Nennen wir die Brennweite der Kugellinse (Abstand des Brenn- vom Knotenpunkt) Φ_1; so ist dieselbe für die drei Beispiele:

1) $\Phi_1 = R + \frac{R}{2} = 1\frac{1}{2}R$

2) $\Phi_2 = R + R = 2R$

3) $\Phi_3 = R + 3\frac{1}{2}R = 4\frac{1}{2}R$: also in letzterem Fall dreimal so gross als im ersteren.

Man könnte geneigt sein, den letzteren Fall auf die Krystalllinse des lebenden in Wasser getauchten Fisches anzuwenden: dann wären die Fisch-

augen stark übersichtig in Wasser. Denn der Abstand der Netzhaut von der hinteren Linsenfläche ist beträchtlich kleiner als $3^1/_2$ *R*.

Matthiessen (*Dioptrik* S. 218) fand beim Seebarsch den Brechungsindex:

der Rinde . . .	1·43
der Mittel-Schicht .	1·49
des Kernes . . .	1·51

und berechnet daraus den totalen Brechungsindex $n = 1 \cdot 7$ und die Brennweite $= 5 \cdot 5$. Der Durchmesser der Linse war 5.0; Krümmungsradius der Hornhaut 6·6; Ort der vorderen Linsenfläche 0·5; Ort der Retina 8·5. Also läge die Retina 3 mm hinter der Hinterfläche der Linse und der Vereinigungspunkt eines parallel einfallenden Strahlenbündelss nahezu in der Retina.

Setzen wir

$$n_2 = 1 \cdot 7 \qquad n_1 = 1 \cdot 3$$

so folgt $\varphi_2 = \frac{(2 \times 1\cdot 3 - 1\cdot 7)}{2(1\cdot 7 - 1\cdot 3)} 2\cdot 5 = \frac{(2\cdot 6 - 1\cdot 7)}{0\cdot 8} \times 2\cdot 5 = \frac{0\cdot 9}{0\cdot 8} \times 2\cdot 5$

d. h. fast in der Retina. Danach wäre auch

$$\Phi = 2\cdot 5 + 2\cdot 75 = 5\cdot 25$$

was genügend mit Matthiessen's Integralrechnung übereinstimmt.

Der totale Brechungsindex der Fischlinsen ist grösser als der des Glases.

Natürlich gilt auch für Kugellinsen:

$$\frac{\beta_1}{-\beta_2} = \frac{\varphi_1}{F_1} = \frac{F_2}{\varphi_2}.$$